現行の地震動評価では「ばらつき」は考慮されていない

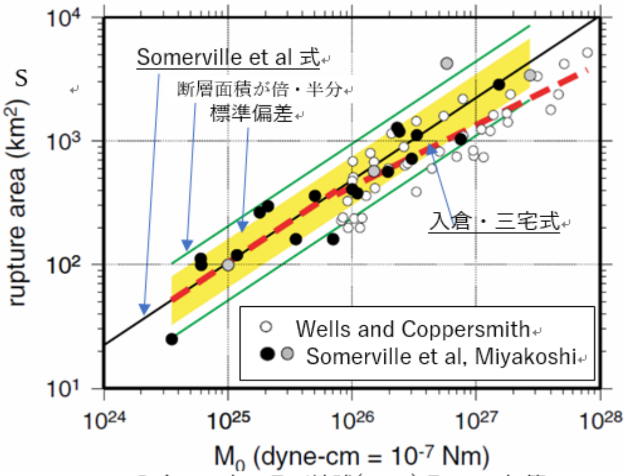
１標準偏差を考慮しただけで地震規模は入倉・三宅式の2.4倍。再審査が必要

2019.2.21　美浜の会

地震動審査ガイドⅠ.3.2.3（2）では、「経験式は平均値としての地震規模を与えるものであることから、経験式が有するばらつきも考慮されている必要がある」（下線は引用者）とされているが、地震動評価でこの要求は無視されて、平均値である入倉・三宅式を適用するだけでよしとされている。「ばらつき」として１標準偏差を考慮しただけで、地震モーメントは2.4 倍になるので、原発をとめて審査をやり直すべきである。

■ 地震動審査ガイドに規定されている「ばらつき」の考慮とは

右図（入倉・三宅(2001)の図７相当）では横軸に地震モーメント M_0、縦軸に断層面積(破壊面積)S がとられている。



入倉・三宅：月刊地球(2002) Fig.1 に加筆

Somerville ほか式のデータ点(主に黒丸)はばらついており､式はその平均値である。その線を包むように、標準偏差までの範囲が色つきの領域で示されている。標準偏差は、平均式と各データ点との乖離（「ばらつき」）の度合いを示す量である。つまり、審査ガイドがいう「経験式が有するばらつき」が、まさに標準偏差までの色付きの範囲で示されている。問題の性質（危険度の高さ）によっては、標準偏差の２倍、３倍の影響を考慮することもあり得る（他方、図中の断層面積が倍・半分の線は「ばらつき」とは関係ないので、ここでは考察しない）。

Somerville ほか式の直線は傾きが 2/3 に固定されているので、切片(縦軸を切る点の値)だけで特徴づけができ、標準偏差の線はそれと並行なので、切片をずらすだけで特徴づけられる。

■「ばらつき」の地震規模(地震モーメント)への影響

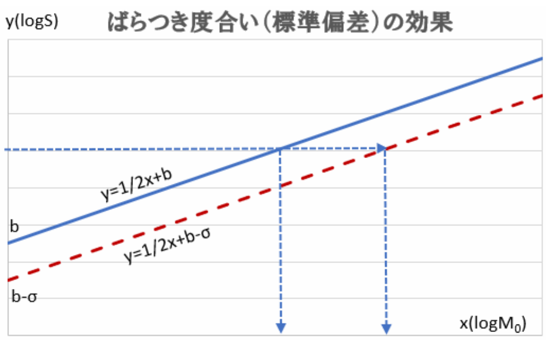
以下では入倉・三宅式に焦点を当てよう。上図で入倉・三宅式は、そのデータセット（$M_0 \geqq 7.5 \times 10^{25}$）から次のようにして導かれている。両対数グラフ（$x=\log M_0, y=\log S$）上で、経験式を

$$y=(1/2)x+b$$

と仮定し、切片 b を最小二乗法で決める。それは結果的に各点を通る平行線(傾き 1/2)の切片の平均値となる(後述)。上記の経験式を変形すると、

$$M_0 = k\,S^2 \qquad (k = 10^{-2b})$$

となる。すなわち、地震モーメント M_0 は断層面積 S と比例係数 k で表され、k は切片 b によって決まる。



「ばらつき」として標準偏差 σ を考慮する場合、切片 b が b+σ または b-σ となった場合を考えることになる（模式的な右図参照）。b が b-σ にな

った場合、比例係数 k は k'$=10^{-2(b-\sigma)}=10^{2\sigma}10^{-2b}=10^{2\sigma}$ k となるので、M_0 は元の値の $10^{2\sigma}$ 倍になる。入倉・三宅式では $\sigma=0.191$ なので M_0 は 2.41 倍となる。もし標準偏差の 2 倍（2σ）を考慮すると $10^{4\sigma}=5.81$ 倍となる。

このような影響を考慮することを、地震動審査ガイドは求めているのである。しかし、このような「ばらつき」の考慮は、現在の基準地震動策定過程では、どこにも見当たらない。それに替えて断層面積 S を安全側に（大きめに）考慮していると裁判の被告などは強調しているが、それは「ばらつき」の考慮ではなく、審査ガイドで別に規定されている「不確かさ」の考慮に他ならない。「ばらつき」の考慮は上記のように、入倉・三宅式の基になったデータセット(集合)の枠内での行為であるが、断層面積 S は問題としている原発に影響する断層に関する考察から決まるので、別の範疇に属する。結局、現行の評価は地震動審査ガイドに違反しているのである。

■ 補足説明

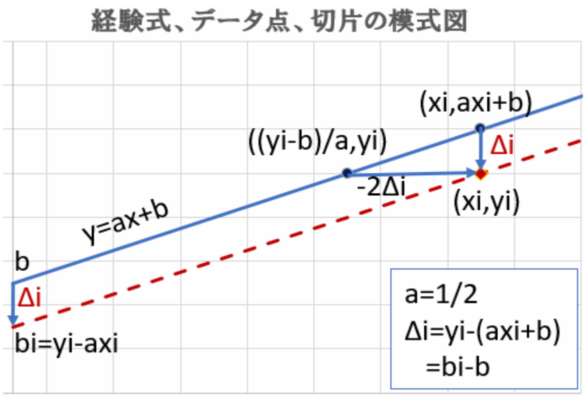
ここでは、最小二乗法による切片 b の決定、標準偏差の影響について具体的に示そう。入倉・三宅式では両対数グラフで直線の傾きを固定して y=1/2x+b（x=logM_0,y=logS）としている。点が n 個あるとして、第 i 番目の点(xi,yi)と経験式上の点(x,ax+b)との「隔たり」または「乖離」を考える。通常は同じ xi をもつ点(xi,yi)と直線上の点(xi,axi+b)の y 座標の差(次式のΔi) を隔たりとして扱っている（グラフ参照。隔たりを横向きや斜めにとっても結果は同じになる)。

Δi=yi-(axi+b)

次に、点(xi,yi)を通る傾き 1/2 の直線を考えると、その切片は yi=axi+bi より bi=yi-axi と決まる。いまや考慮すべき統計的対象は、各点に対応する切片の集合｛b1,・・・,bn｝となる。上記のΔi はΔi＝(yi-axi)-b と書けるので、

Δi＝bi-b

となって切片の差に等しい（グラフで直感的に明らか)。



最小二乗法では、隔たりの 2 乗和

SUM＝$Δ1^2$+・・・＋$Δn^2$

を最小にするよう未知数の切片 b を決めることになる。SUM は b の 2 次式（放物線）なので、最小値は放物線の底になる b の値を求める問題となる。その結果は

b=(b1+・・・+bn)/n

すなわち、各点を通る直線の切片の単純な平均値として b が決まる。

いまや「ばらつき」は明らかで、平均値 b をもつ経験式が決まったとき、その経験式と基のデータセット内の点との乖離（隔たり）Δi=bi-b を考慮せよということになる。通常は、乖離の度合いを示す標準偏差σ、標準偏差の 2 倍（2σ）などが考慮される。

標準偏差σは次式で定義されるように、乖離のある種の平均値（「ばらつき」の度合い）を表している（2 乗平均の平方根)。

$\sigma=[\ (\Delta 1^2+\cdots+\Delta n^2)\ /n\ ]^{1/2}$

このように、平均値としての経験式も、「ばらつき」の度合いを与える標準偏差も、あくまでも基になった選ばれたデータセットの枠内で成り立つ概念である。元のデータセットに入っていない、実断層の面積データや他のデータ集合などがここに関与する余地はまったく存在しない。